

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. April 2003 (24.04.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/033933 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F16F 1/02 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/03718
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
1. Oktober 2002 (01.10.2002) (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): JOVOVIC, Dejan [DE/DE]; Charles-Lindbergh-Str. 2, 93049 Regensburg (DE). LEWENTZ, Günter [DE/DE]; Lärchenweg 5, 93055 Regensburg (DE). VOIGT, Andreas [DE/DE]; Liebigstr. 27, 93055 Regensburg (DE). ZUMSTRULL, Claus [DE/DE]; Zum Vogelherd 3, 93128 Regenstauf (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
101 49 746.6 9. Oktober 2001 (09.10.2001) DE

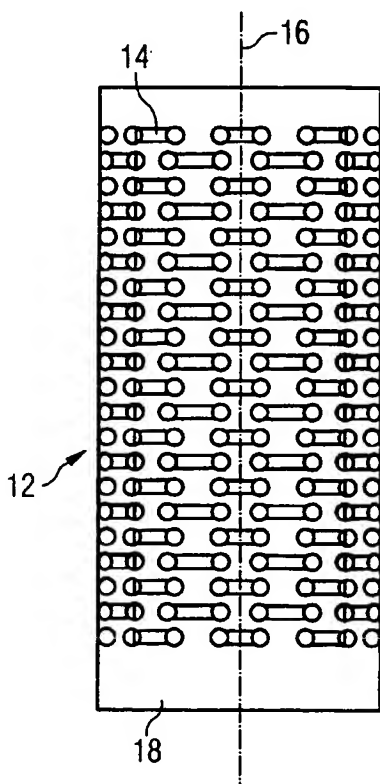
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A TUBULAR SPRING AND AN ACTUATOR UNIT COMPRISING ONE SUCH TUBULAR SPRING

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER ROHRFEDER SOWIE AKTOREINHEIT MIT EINER SOLCHEN ROHRFEDER



WO 03/033933 A1



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a tubular spring (12) in the form of a cylindrical hollow body, especially for pre-tensioning a piezoelectric actuator element (2) of an actuator unit (1) of a fuel injector. According to the inventive method, a thin-walled, solid-drawn steel tube is provided with a plurality of regularly arranged longish recesses (14) by means of laser cutting. The invention also relates to an actuator unit (1) comprising a piezoelectric actuator element (2) which is arranged in a thin-walled cylindrical hollow body, said hollow body being elastically embodied and pre-tensioning the actuator element (2). Furthermore, the hollow body is a solid-drawn steel tube which is provided with a plurality of longish recesses (14).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Rohrfeder (12) in Form eines zylindrischen Hohlkörpers, insbesondere zur Vorspannung eines piezoelektrischen Aktorelements (2) einer Aktoreinheit (1) eines Kraftstoffinjektors, bei dem ein dünnwandiges, nahtlos gezogenes Stahlrohr mittels Laserschneiden mit einer Vielzahl von regelmässig angeordneten länglichen Ausnehmungen (14) versehen wird. Die Erfindung betrifft zudem eine Aktoreinheit (1) mit einem in einem dünnwandigen zylindrischen Hohlkörper angeordneten piezoelektrischen Aktorelement (2), wobei der Hohlkörper elastisch ausgebildet ist und das Aktorelement (2) vorspannt und wobei der Hohlkörper ein mit einer Vielzahl von länglichen Ausnehmungen (14) versehenes nahtlos gezogenes Stahlrohr ist.



(74) **Gemeinsamer Vertreter:** SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** JP, US.

**Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht*

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR)*

## Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer Rohrfeder sowie Aktoreinheit mit einer solchen Rohrfeder

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Rohrfeder, insbesondere für eine Aktoreinheit eines Kraftstoffinjektors, sowie eine solche Aktoreinheit mit einer Rohrfeder.

10

Kraftstoffeinspritzsysteme der neuen Generation weisen Piezoaktorelemente als Schalt- und Stellglieder auf. Diese sog. Piezostacks, die aus aufeinander gestapelten Piezoeinheiten bestehen, sind aus Gründen der Dauerhaltbarkeit elastisch vorgespannt. Die hierfür verwendeten Vorspannelemente müssen sehr hohe Vorspannkräfte bei geringem Bauvolumen aufbringen. Sie sollen zudem eine relativ geringe Steifigkeit sowie ein einfaches und robustes Design aufweisen. Weiterhin ist eine Dauerhaltbarkeit bei hochdynamischer Belastung gefordert.

20

Aus der DE 38 44 134 A1 ist ein Einspritzventil mit einem piezoelektrischen Aktor bekannt. Der Aktor ist in einer zylindrischen Rohrfeder angeordnet und wird von dieser gegen das Gehäuse des Einspritzventils vorgespannt. Bei diesem Aufbau der Aktoreinheit hängt jedoch die Vorspannung des piezoelektrischen Aktors stark von den Fertigungstoleranzen des Gehäuses des Einspritzventils ab. Der Einbau der Aktoreinheit ist zudem aufwendig und erfordert einen hohen Wartungsaufwand, da bei jedem Ein- und Ausbau die Vorspannung auf den piezoelektrischen Aktor durch die Rohrfeder neu eingestellt werden muss. Darüber hinaus besteht bei den verwendeten Rohrfedern auch das Problem, dass zur Erreichung einer ausreichenden Elastizität der Längsbewegung des piezoelektrischen Aktors die Rohrfeder extrem dünnwandig ausgeführt werden muss, was deren Festigkeit und die Lebensdauer der Aktoreinheit beeinträchtigt.

35

## 2.

Eine gattungsgemäße Rohrfeder zur Vorspannung eines piezo-  
elektrischen Aktors eines Kraftstoffeinspritzventils ist zu-  
dem aus der DE 198 35 628 A1 bekannt. Diese Rohrfeder besteht  
aus einem dünnwandigen Hohlzylinder, in den eine Vielzahl von  
5 knochenförmig ausgebildeten Ausnehmungen eingebracht sind.  
Diese Ausnehmungen bewirken eine gewünschte Längselastizität  
der Rohrfeder. Diese bekannte Rohrfeder erfordert eine rela-  
tiv aufwendige Fertigung, da die Ausnehmungen in einem Stanz-  
prozess eingebracht sind. Zudem muss ein ebenes Stahlblech  
10 nach dem Stanzvorgang in eine zylindrische Form gebracht und  
an seiner Stoßkante verschweißt werden.

Ein Ziel der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Her-  
stellung eines Vorspannelements für ein Aktorelement einer  
15 Aktoreinheit zur Verfügung zu stellen, das eine hohe Elasti-  
zität aufweist.

Dieses Ziel der Erfindung wird mit dem Gegenstand des unab-  
hängigen Patentansprüche erreicht. Merkmale vorteilhafter  
20 Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen  
Ansprüchen.

Dem gemäß wird bei einem Verfahren zur Herstellung einer  
Rohrfeder in Form eines Hohlkörpers, insbesondere zur Vor-  
25 spannung eines piezoelektrischen Aktorelements einer Akto-  
reinheit eines Kraftstoffinjektors ein dünnwandiges Metall-  
rohr mittels Strahlschneiden mit einer Vielzahl von regelmä-  
ßig angeordneten, länglichen Ausnehmungen versehen.

30 Durch die Ausnehmungen, die länglich ausgeformt sind, ist ge-  
währleistet, dass der Hohlkörper auch bei den üblicherweise  
angelegten Vorspannungen auf den piezoelektrischen Aktor von  
ca. 800 N bis 1000 N eine ausreichende Festigkeit zeigt und  
gleichzeitig genügend elastisch zum Ausführen der von dem  
35 piezoelektrischen Aktor erzeugten Längsbewegungen ist. Mit-  
tels des Strahlschneidens ist es möglich, sehr schmale und  
kleine Ausnehmungen in den zylindrischen Hohlkörper einzu-

bringen, wie sie mittels eines Stanzvorgangs nicht in dieser Form eingebracht werden könnten. Es können somit auf gleicher Fläche wesentlich mehr Ausnehmungen untergebracht werden, was zu einer signifikanten Absenkung der Federrate der strahlgeschnittenen Variante der Rohrfeder führt. Dagegen sind typische Abmessungen von gestanzten Ausnehmungen aufgrund der erforderlichen Mindestabmessungen des Stanzstempels und der damit verbundenen Stanzzeit des Stanzwerkzeugs in relativ engen Grenzen vorgegeben. Somit ist bei gestanzten Ausnehmungen auch die Anzahl der Ausnehmungen je Flächeneinheit begrenzt, was zu einer relativ hohen Federrate führt.

Aufgrund der relativ geringen Federsteifigkeit der strahlgeschnittenen Rohrfeder geht ein nur sehr geringer Teil der vom Aktor ausgeführten Bewegungsenergie durch die Federsteifigkeit des Vorspannelements als Nutzhub verloren.

Der Hohlkörper kann vorzugsweise eine zylindrische Kontur aufweisen. Als Material für den Hohlkörper kommt insbesondere ein dünnwandiges, nahtlos gezogenes Stahlrohr in Frage.

Als Strahlschneidverfahren eignet sich bspw. Laserstrahlschneiden, Wasserstrahlschneiden oder Elektronenstrahlschneiden. Alle diese Strahlschneidverfahren lassen sich mit hoher Präzision durchführen und führen zu sehr exakten und maßhaltigen Werkstücken.

Eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass durch den Einsatz eines geeigneten Füllkörpers im Inneren des Hohlzylinders während des Strahlschneidens eine definierte Formgebung der Strahlaustrittskante erreicht und eine Beschädigung der Gegenseite verhindert wird.

Eine weitere bevorzugte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass eine Längserstreckungsrichtung jeder Ausnehmung jeweils im wesentlichen senkrecht zur Zylindermittelachse der Rohrfeder ausgerichtet ist. Auf diese Weise kann

der Rohrfeder in Richtung ihrer Längsachse eine gewünschte Federsteifigkeit aufgeprägt werden. Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Ausnehmungen in Reihen angeordnet, wobei die Ausnehmungen benachbarter Reihen jeweils gegeneinander seitlich versetzt angeordnet sind. Diese Gestaltung weist den Vorteil eines idealen Federungsverhaltens der Rohrfeder auf, da die abwechselnd aufeinandertreffende Stege und Ausnehmungen zu einer möglichen Eindrückung der Ausnehmungen führen können, wobei die dazwischenliegenden Stege jeweils ihre Form beibehalten können.

Gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Variante beträgt ein minimaler Abstand zwischen benachbarter Ausnehmungen zweier Reihen das 0,3- bis 4-fache der Wandstärke des zylindrischen Hohlkörpers der Rohrfeder. Je nach gewählten Abmessungen der Ausnehmungen sowie der Wandstärke der Rohrfeder kann eine ideale Federkonstante gewählt werden.

Die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Rohrfeder bietet die Möglichkeit, zwischen einer relativ großen Anzahl von möglichen Werkstoffen auszuwählen, da bei gleichbleibender Federate eine Absenkung der Spannungen möglich ist. So können beispielsweise Werkstoffe gewählt werden, die zwar eine niedrige Festigkeit aufweisen, die aber für später folgende Schweißprozesse eine bestmögliche Werkstoffpaarung darstellen. Weiterhin können auch Werkstoffe gewählt werden, die optimal für den Strahlschneidvorgang bzw. den Laserschneidprozess geeignet sind, d.h. solche mit einem relativ niedrigen Schwefelgehalt von weniger als 0,25%.

Das für die Rohrfeder verwendete nahtlos gezogene Metallrohr weist vorzugsweise eine Stärke von weniger als 1,0 mm auf. Wahlweise kann die Stärke jedoch auch größer gewählt werden, um auf diese Weise auch bei einem verwendeten Stahl von geringerer Festigkeit zu einer gewünschten Federsteifigkeit zu gelangen.

Vorzugsweise ist das für die Rohrfeder verwendete nahtlos gezogene Metallrohr ein Federstahl, da ein solcher relativ günstige elastische Eigenschaften auch bei sehr kleinen Abmessungen aufweist.

Gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens können die Ausnehmungen jeweils eine hantelförmige Kontur mit eingeschnürtem Mittelbereich aufweisen, wodurch wiederum eine gezielte Beeinflussung der gewünschten Federsteifigkeit realisierbar ist.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens. Durch den Einsatz eines Strahlschneideverfahrens wird eine hohe Genauigkeit der Aussparungen der Rohrfeder erreicht. Es sind über das Strahlschneiden hinaus keine zusätzlichen Bearbeitungsschritte erforderlich. Zudem kann damit eine hohe Oberflächengüte in den Ausnehmungen erzielt werden, wie sie mittels eines Stanzvorganges nicht erreichbar wäre.

Die Verwendung von nahtlos gezogenen Stahlrohren ermöglicht eine verbesserte Maßhaltigkeit der gewünschten Zylinderkontur der Rohrfeder. Aufgrund des Verzichts auf eine Längsschweißnaht, wie sie bei bekannten Verfahren notwendig ist, ergeben sich weniger potentielle Fehlstellen im Metall. Zudem kann auf die üblicherweise notwendige Nahtbearbeitung verzichtet werden.

Eine erfindungsgemäße Aktoreinheit weist einen dünnwandigen zylindrischen Hohlkörper auf, der um ein piezoelektrisches Aktorelement angeordnet ist, wobei der Hohlkörper elastisch ausgebildet ist und das Aktorelement vorspannt und wobei der Hohlkörper ein mit einer Vielzahl von länglichen Ausnehmungen versehenes Metallrohr, insbesondere ein nahtlos gezogenes Stahlrohr ist. Eine Aktoreinheit mit einem derartigen zylind-

rischen Hohlkörper als Rohrfeder kann mit sehr exakt gewählten Eigenschaften der Rohrfeder versehen werden.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsformen mit Bezug  
5 auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Aktoreinheit in schematischer Querschnittsdarstellung,

10 Figur 2 eine Rohrfeder in schematischer Seitenansicht, die mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt ist,

Figur 3 eine Detailansicht einer ersten Ausführungsform der  
15 Rohrfeder gemäß Figur 2 und

Figur 4 eine Detailansicht einer alternativen Ausführungsform der Rohrfeder.

20 Figur 1 zeigt eine Aktoreinheit 1, bestehend aus mehreren gestapelten, piezoelektrischen Einzelelementen. Die piezoelektrische Aktoreinheit 1 wird mittels Kontaktstiften 4 mit elektrischer Spannung beaufschlagt. Die Kontaktstifte 4 sind jeweils längs der Aktoreinheit 1 angeordnet und stehen mit  
25 dem Aktorelement 2 in elektrisch leitender Verbindung. Durch Anlegen einer Spannung zwischen den Kontaktstiften 4 wird eine Längsdehnung des piezoelektrischen Aktorelements 2 erzeugt, die beispielsweise zum Stellen eines Einspritzventils einer Brennkraftmaschine eingesetzt werden kann. Das piezo-  
30 elektrische Aktorelement 2 mit den Kontaktstiften 4 ist in einem als Rohrfeder 12 ausgebildeten zylindrischen Hohlkörper angeordnet.

Das piezoelektrische Aktorelement 2 liegt mit seinen Stirn-  
35 flächen jeweils an einer Abdeckplatte 6 bzw. Bodenplatte 8 an, wobei die obere Abdeckplatte 6 Durchführungen 10 aufweist, durch die sich die Kontaktstifte 4 erstrecken. Die Ab-



deckplatte 6 und die Bodenplatte 8 sind jeweils form- und/oder kraftschlüssig, vorzugsweise durch Anschweißen, mit der Rohrfeder 12 verbunden. Alternativ kann die Verbindung zwischen der Rohrfeder 12 und den beiden Platten 6, 8 auch mit Hilfe einer Bördelung erfolgen, wobei die umgebördelten oberen und unteren Randbereiche des Hohlkörpers jeweils in der Abdeck- 6 bzw. Bodenplatte 8 eingreifen. Das piezoelektrische Aktorelement 2 ist durch die beiden Platten 6, 8, die von der Rohrfeder 12 in Position gehalten werden, mit einer definierten Kraft von vorzugsweise 800 N bis 1000 N vorgespannt. Um diese Vorspannung aufrechterhalten zu können, wird der das piezoelektrische Aktorelement 2 aufnehmende Hohlkörper vorzugsweise aus Federstahl gefertigt, da Federstahl sich durch einen hohen Festigkeitskennwert auszeichnet. Alternativ können jedoch auch andere Materialien, beispielsweise Werkstoffe mit niedrigem Elastizitätsmodul, wie zum Beispiel Kupfer-Beryllium-Legierungen, eingesetzt werden.

Figur 2 zeigt die Rohrfeder 12 in Seitenansicht. Die Rohrfeder 12 ist ein zylindrischer Hohlkörper, der aus einem Metallrohr gefertigt ist. In eine Mantelfläche 18 der Rohrfeder 12 sind eine Vielzahl von Ausnehmungen 14 eingebracht, die mittels Laserschneiden hergestellt sind. Die länglichen Ausnehmungen sind jeweils im wesentlichen senkrecht zur Mittelachse 16 der Rohrfeder 12 orientiert. Die Ausnehmungen 14 sind jeweils in Reihen angeordnet, wobei die Ausnehmungen 14 benachbarter Reihen jeweils gegeneinander seitlich versetzt angeordnet sind. Der minimale Abstand zwischen benachbarter Ausnehmungen 14 zweier benachbarter Reihen kann das 0,3- bis 4-fache der Wandstärke der Rohrfeder betragen.

Als Metallrohr kommt insbesondere ein nahtlos gezogenes Stahlrohr, bspw. aus Federstahl, in Frage.

Figur 3 zeigt eine Detailansicht der mit Ausnehmungen 14 versehenen Mantelfläche 18 der Rohrfeder 12 gemäß Figur 2. Hierbei sind die Ausnehmungen 14 jeweils keulenartig ausgebildet,

so dass sie in einem mittleren Bereich jeweils eine Einschnürung aufweisen. Diese Gestaltung wirkt sich günstig auf die Materialbelastung aus und ermöglicht damit geringe Federsteifigkeiten der gesamten Rohrfeder 12.

5

Wahlweise können die Ausnehmungen 14 in Form von regelmäßigen Langlöchern bzw. schmalen Rechtecken ausgebildet sein, wie dies in Figur 4 beispielhaft dargestellt ist. Als Konturen für die Ausnehmungen 14 kommen annähernd beliebige Formen in Frage, welche zu einer geringeren Federrate in axialer Richtung der Rohrfeder führen. So können die Ausnehmungen bspw. auch als längliche Ausnehmungen mit halbrundförmigen Enden ausgestaltet sein.

15 Die Rohrfeder kann beispielsweise aus einem nahtlos gezogenen Stahlrohr mit einer Dicke von 1,0 mm oder weniger gefertigt sein. Ein Stahlrohr mit einer Dicke von mehr als 1,0 mm eignet sich insbesondere dann, wenn ein Stahl geringerer Festigkeit verwendet wird.

20

Um die Festigkeit der Rohrfeder nach dem Laserschneidvorgang weiter zu steigern, kann eine Wärmebehandlung durchgeführt werden. Alternativ zu den in Figur 2 gezeigten geradlinigen Stoßkanten der Rohrfeder 12 können beliebige andere Stoßkantenformen, beispielsweise in Form einer Sinuswelle oder einer Zickzacklinie ausgebildet sein, wobei zum Fixieren der Rohrfeder dann eine entsprechend geformte Schweißnaht bzw. eine Punktschweißung verwendet wird.

30 Statt einer Fixierung der Rohrfeder 12 durch Schweißen kann eine Fixierung auch durch die oberen und unteren Platten 6, 8 erfolgen, so dass die Stoßkanten nur aneinander anliegen. Hierdurch kann sich eine vorteilhafte Verteilung der Druck- und Federkräfte im Hohlkörper ergeben.

35

Eine Ausbildung der Aktoreinheit mit einem äußeren Hohlkörper, der vorzugsweise als Rohrfeder ausgebildet ist und in

dem der piezoelektrische Aktor mittels form- und/oder kraftschlüssig mit dem Hohlkörper verbundenen oberen und unteren Abdeckungen vorgespannt ist, ermöglicht aufgrund seines kompakten Aufbaus einen einfachen Transport und einen leichten  
5 Ein- und Ausbau, zum Beispiel in ein Einspritzventil einer Brennkraftmaschine.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Rohrfeder (12) in Form  
eines Hohlkörpers, insbesondere zur Vorspannung eines  
5 piezoelektrischen Aktorelements (2) einer Aktoreinheit  
(1) eines Kraftstoffinjektors, bei dem ein Rohr, insbe-  
sondere ein dünnwandiges nahtlos gezogenes Stahlrohr,  
mittels Strahlschneiden mit einer Vielzahl von regelmä-  
ßig angeordneten länglichen Ausnehmungen (14) versehen  
10 wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
als Strahlscheidverfahren insbesondere Laser-, Wasser-  
15 strahl oder Elektronenstrahlschneiden eingesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
während des Strahlschneidens ein Füllkörper innerhalb des  
20 Hohlkörpers eingefügt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Längserstreckungsrichtung jeder Ausnehmung (14) je-  
25 weils im Wesentlichen senkrecht zur Zylindermittelachse  
(16) der Rohrfeder (12) ausgerichtet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
30 die Ausnehmungen (14) in Reihen angeordnet werden, wobei  
die Ausnehmungen (14) benachbarter Reihen jeweils gegen-  
einander seitlich versetzt angeordnet sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
35 dadurch gekennzeichnet, dass  
ein minimaler Abstand zwischen benachbarten Ausnehmungen  
(14) zweier Reihen das 0,3- bis vierfache der Wandstärke

des zylindrischen Hohlkörpers der Rohrfeder (12) be-  
trägt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass  
das für die Rohrfeder (12) verwendete nahtlos gezogene  
Stahlrohr eine Stärke von weniger als 1,0 Millimetern  
aufweist.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
als Werkstoff des für die Rohrfeder (12) verwendeten  
nahtlos gezogenen Stahlrohres ein Federstahl verwendet  
wird.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Rohrfeder (12) mit Ausnehmungen (14) versehen wird,  
die insbesondere hantelförmige Konturen mit eingeschnür-  
20 tem Mittelbereich aufweisen.
10. Aktoreinheit (1) mit einem in einem dünnwandigen zylind-  
rischen Hohlkörper angeordneten piezoelektrischen  
Aktorelement (2), wobei der Hohlkörper elastisch ausge-  
25 bildet ist und das Aktorelement (2) vorspannt und wobei  
der Hohlkörper ein mit einer Vielzahl von länglichen  
Ausnehmungen (14) versehenes nahtlos gezogenes Stahlrohr  
ist.
- 30 11. Aktoreinheit nach Anspruch 10, bei dem der zylindrische  
Hohlkörper mit einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche  
1 bis 9 hergestellt ist.